

Elektrický pohon omílacího stroje s možností regulace otáček

Electric drive with speed control for a
tumbling machine

Vojtěch Huvar

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Mrověc, Ph.D.

Ostrava, 2021

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá teoretickým rozbořem elektrických pohonů pro omílací stroje, samotným procesem omílání, jakožto proces úpravy povrchů, a poté realizací regulace otáček vybraného omílacího stroje, který je vybaven univerzálním motorem. Tato práce se bude zabývat hlavně návrhem a realizací obvodů pro regulaci a také napájení samotného elektrického motoru.

Abstract

This bachelor's thesis is focused on a theoretical analysis of an electric motors for tumbling machines, on the process of tumbling itself as a method of a surface treatment and practical realization of a speed control of given tumbling machine equipped with an universal motor. Main focus of this thesis is going to be on designing the circuits and actual realisation of the speed control and power supply for the motor itself.

Klíčová slova

Regulace otáček, komutátorový motor, napájení motoru, zpětná vazba, Hallova sonda, ATmega32, Bascom, PWM,

Keywords

Speed control, commutator motor, motor power supply, feedback, Hall-effect sensor, ATmega32, Bascom, PWM

Poděkování

Chtěl bych především poděkovat vedoucímu bakalářské práce Ing. Tomáši Mrověcovi, Ph. D. za bezstarostný a hladký průběh celé tvorby této bakalářské práce a za možnost realizace vlastního tématu, které je praktické, a hlavně bude aktivně využíváno ve firmě Apeom s. r. o., ve které dlouhá léta pracuji. Největší dík ale přeci jen patří mému rodinnému příteli a zaměstnavateli panu Ing. Petru Brodovi za neocenitelnou pomoc, cenné rady, poskytnuté materiály, firemní prostředky, a hlavně trpělivost při pomáhání u tvorby této práce. Hodně jsem se od něj naučil. Také děkuji panu Ing. Ladislavu Búlikovi, taktéž mému zaměstnavateli, za poskytnutí všech materiálních prostředků nutných pro zhotovení funkčního modelu.

Obsah

Seznam použitých symbolů	5
Seznam použitých zkratek	5
Seznam ilustrací	6
1 Úvod	7
2 Elektrický stroj	8
2.1 Lineární elektrické motory	8
2.2 Točivé motory	9
2.2.1 Asynchronní.....	9
2.2.2 Univerzální / komutátorový	10
2.3 Možnosti zapojení univerzálního elektrického motoru	11
2.3.1 Sériové zapojení	11
2.3.2 Cizí buzení.....	12
3 Omílání	13
3.1 Profesionální omílací stroje	13
3.1.1 Kruhový / odstředivý omílací stroj	13
3.2 Vybraný omílací stroj	14
4 Zdroj konstantního proudu	16
4.1 Výpočty pro návrh zdroje konstantního proudu.....	17
4.2 Ztrátové výkony a dimenzování součástek	19
4.3 Návrh a realizace výkonové části pohonu	20
4.3.1 Realizace DPS	22
5 Realizace zpětné vazby pomocí Hallovy sondy	23
6 Návrh a realizace řídicí části pohonu	25
6.1 Ukázka programu v jazyce Bascom	26
6.2 Popis programu.....	28
6.3 Návrh DPS pro regulaci rotoru	29
7 Finální produkt.....	31
8 Závěr	33
Seznam literatury	34
Seznam příloh	35

Seznam použitých symbolů

f	(Hz)	Frekvence
h_{21e}	(-)	Proudový zesilovací činitel
I_{B1}	(I)	Proud báží tranzistoru T_1
I_c	(I)	Proud kolektoru tranzistoru T_1
M	(Nm)	Točivý moment
n	(ot/min)	Otáčky motoru
n_s	(ot/min)	Synchronní otáčky motoru
p	(-)	Počet pól párů
P_{R1}	(W)	Ztrátový výkon na odporu R_1
P_{Rb}	(W)	Ztrátový výkon na báзовém odporu tranzistoru T_1
P_{T1}	(W)	Ztrátový výkon na tranzistoru T_1
R_1	(Ω)	Odpor R_1
R_b	(Ω)	Odpor R_b
R_a	(Ω)	Odpor kotvy
R_L	(Ω)	Činný odpor statorového vinutí
$R_{\theta jc}$	(W/K)	Tepelný odpor mezi přechodem PN a obalem
$R_{\theta ch}$	(W/K)	Tepelný odpor chladiče
$R_{\theta ha}$	(W/K)	Tepelný odpor mezi chladičem a okolím
s	(%)	Skluz motoru
T	(s)	Perioda
T_j	($^{\circ}\text{C}$)	Teplota přechodu PN
U_{B2}	(V)	Napětí na báží tranzistoru T_2
U_{BE1}	(V)	Napětí báze-emitor tranzistoru T_1
U_{BE2}	(V)	Napětí báze-emitor tranzistoru T_2
U_{CE}	(V)	Napětí kolektor-emitor tranzistoru T_1
U_{RB}	(V)	Úbytek napětí na báзовém odporu tranzistoru T_1
Φ_n	(Wb)	Magnetický tok
ω	(rad/s)	Otáčky motoru
ω_{0n}	(rad/s)	Otáčky motoru naprázdno
τ	(s)	Časová konstanta

Seznam použitých zkratk

AD	Analogově-digitální
DPS	Deska plošných spojů
HPS	Speciální, vytlačovaný a houževnatý typ polystyrenu
LED	Svítlící dioda
PET	Plastový materiál
PWM	Pulzně šířková modulace
RxD	Datový signál používán pro sériovou komunikaci
TxD	Datový signál používán pro sériovou komunikaci

Seznam ilustrací

Obr. 1 Princip lineárního motoru	8
Obr. 2 Řez asynchronním motorem	9
Obr. 3 Frekvenční měnič Yaskawa J1000	10
Obr. 4 Komutátor zvoleného motoru.....	10
Obr. 5 Schéma sériového zapojení DC motoru	11
Obr. 6 Mechanická charakteristika komutátorového motoru pro DC a AC napájení	12
Obr. 7 Schéma DC cize buzeného motoru	12
Obr. 8 Mechanická charakteristika cize buzeného DC motoru	12
Obr. 9 Pohled dovnitř odstředivého omílacího stroje.....	14
Obr. 10 Omílací stroj značky Otec v prostorách VŠB.....	14
Obr. 11 Komutátorový motor s redukčním převodem pohánějící omílací stroj	15
Obr. 12 Pohled zepředu na naplněný omílací stroj připravený ke spuštění	15
Obr. 13 Schéma zapojení zdroje konstantního proudu	16
Obr. 14 Upravené schéma zapojení zdroje konstantního proudu s regulací	17
Obr. 15 Závislost proudového zesilovacího činitele h_{21e} na proudu kolektorem	17
Obr. 16 Schéma pro výpočet všech potřebných součástí	18
Obr. 17 Transformátor TR-EI6633 40VA/2x9V	20
Obr. 18 Schéma obvodu pro usměrnění síťového napětí pro step-down měnič.....	21
Obr. 19 Návrh desky plošných spojů pro usměrňovač, step-down měnič a zdroj konstantního proudu	21
Obr. 20 Step-down měnič 8A, modul HX-M401	22
Obr. 21 Realizace DPS pro napájení statoru.....	22
Obr. 22 Provedení Hallový sondy	23
Obr. 23 Průběh výstupního napětí Hallový sondy při 116 ot/min	23
Obr. 24 3D model Držáku Hallový sondy v programu Alibre Design.....	24
Obr. 25 Vývojová deska EVB 5.1	25
Obr. 26 Rozložení pinů procesoru ATmega32	26
Obr. 27 Ukázka začátku kódu a nastavení obou časovačů v jazyce Bascom	26
Obr. 28 Hlavní (regulační) smyčka programu.....	27
Obr. 29 Schéma zapojení pro napájení a regulaci napětí rotoru	29
Obr. 30 DPS pro regulaci a napájení rotoru	30
Obr. 31 Finální DPS i se zdrojem 12V/3A pro napájení a regulaci rotoru	30
Obr. 32 Finální podoba celku pro regulaci otáček omílacího stroje.....	31
Obr. 33 Finální podoba celého omílacího stroje	31
Obr. 34 Dlouhý výpis ze sériové linky v programu Mitecom.....	32
Obr. 35 Zkrácený výpis ze sériové linky v programu Mitecom.....	32

1 Úvod

Cílem této práce je vytvořit obvody pro regulaci otáček a také napájení samotného elektrického motoru vybraného omílacího stroje. Toto řízení je naprosto nezbytné, neboť omílací stroje, zvláště točivého typu, pracují většinu času s nerovnoměrným zatížením, a tudíž je jejich provoz prakticky nemožný bez regulace se zpětnou vazbou.

Omílací stroje se začínají poslední dobou prosazovat ve světě průmyslu, neboť je to velmi efektivní způsob finální úpravy povrchů. Tato metoda je také výhodná v tom, že se dá opakovat pořád dokola – není ztracená. Například při úpravě povrchu brusnými papíry apod. je velká spotřeba materiálu. V dnešní době, kdy je na ekologii brán stále větší ohled, se tento výrobní proces stává populárnějším.

Mým cílem bylo také podívat se na způsob regulace otáček z trochu jiného úhlu. Nejjednodušším řešením by samozřejmě bylo použít asynchronní motor a otáčky regulovat za pomoci frekvenčního měniče. Tato práce se ovšem bude zabývat regulací otáček univerzálního motoru za pomoci pulzní šířkové modulace vytvářené z mikrokontroléru.

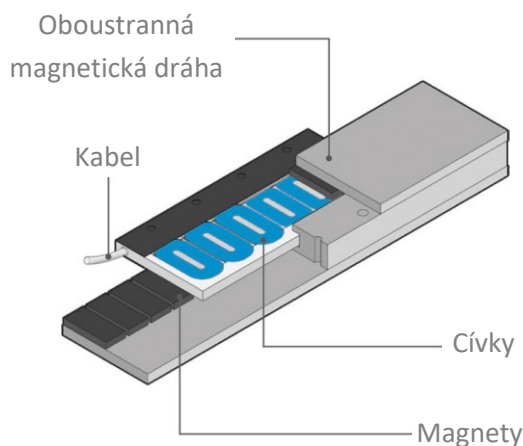
Struktura práce byla zvolena tak, že se čtenář nejprve dozví něco o různých typech elektrických pohonů. Na to navazuje obecná teorie k omílacím strojům, které jsou i v dnešní době široké veřejnosti poměrně neznámé, a nakonec se dozví o jednom z možných způsobů regulace otáček takového omílacího stroje a měl by být schopen je v případě potřeby i replikovat. Na úplném konci práce bude ukázán celý vyrobený omílací stroj s důkazem jeho činnosti.

2 Elektrický stroj

Elektrický stroj je zařízení, které přeměňuje jeden druh energie a druhý. Podmínkou však je, že alespoň jedna z těchto energií musí být elektrická. Obecně se dají elektrické stroje rozdělit podle svých vlastností do více skupin. Nejčastější je však rozdělení podle pohybu, který tyto motory vykonávají.

2.1 Lineární elektrické motory

Lineární motor je speciálním typem synchronního servomotoru. Nejsou zde žádné kartáčky, ani komutátor, tudíž jsou jednodušší na výrobu a údržbu. Jejich konstrukce odpovídá tomu, kdybychom klasický synchronní motor rozvinuli do roviny. Základem je stále permanentní magnet a cívka, proto se říká, že je od servomotorů odvozený. Princip fungování je velmi jednoduchý. „Rotor“ je, jak již bylo zmíněno, permanentní magnet. Lépe řečeno se spíše označuje jako tzv. magnetická dráha nebo magnetické vedení. Toto označení bylo zřejmě odvozeno od jeho tvaru, protože se jedná o dlouhou dráhu permanentních magnetů položených vedle sebe. Jezdec je poté pomocí těchto magnetů přitahován elektromagnetickým polem, které vytvoří cívka, když je do ní puštěn proud. Podle směru proudu cívkou se bude také otáčet polarita magnetického pole, a tudíž bude rotor přitahovat a točit opačným směrem. Z toho tedy vyplývá, že tyto motory jsou schopny obousměrného provozu.



Obr. 1 Princip lineárního motoru [1]

Asi největší výhodou těchto motorů, kromě již zmíněné jednoduché konstrukci a dlouhé životnosti, je velmi velký točivý moment, který není podmíněn počáteční rychlostí motoru. To znamená, že tento motor může mít téměř maximální moment ihned z klidu nebo velmi nízké rychlosti. Další nespornou výhodou je, že nejsou nijak zapouzdřené, tudíž se dají vždy upravit přesně na danou aplikaci. Nejčastější využití najdeme například u automatického posuvu vjezdových bran. [1]

2.2 Točivé motory

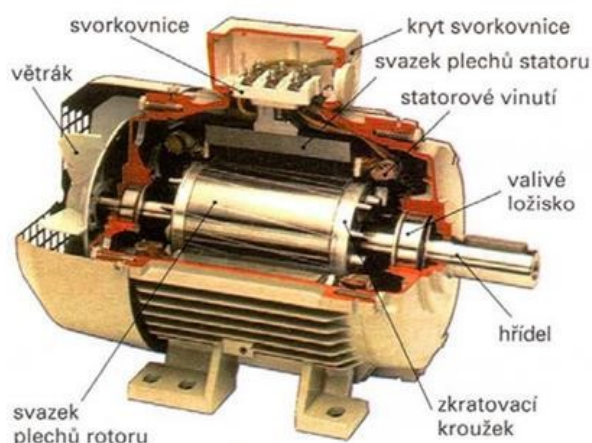
2.2.1 Asynchronní

Tento druh elektromotoru je asi nejrozšířenějším elektrickým pohonem vůbec. Začíná nahrazovat i běžné stejnosměrné motory. Důvod je jednoduchý. Velmi jednoduchá konstrukce, neboť zde nejsou kartáčky ani komutátor. U tohoto druhu motoru se poprvé objevuje pojem skluz. Znamená to, že otáčky nejsou přesně přímo úměrné buzení. Výpočet skluzu motoru se udává jako podíl rozdílu otáček synchronních s mechanickými otáčkami rotoru a synchronních otáček. Viz vztah (2.1). Tím, že je rotor zapojen jako kotva na krátko zde vzniká prodleva mezi začátkem buzení a začátkem otáčení motoru. To se děje, neboť se prvně musí začít budit motor z vnějšku, což ve statorových cívkách vytvoří elektromagnetické pole, které naindukuje napětí a poté i proud v rotoru, který také vytvoří elektromagnetické pole, ale opačné polarity a začne se točit.

$$n = \frac{60 \cdot f}{p} \cdot (1 - s) \quad (2.1)$$

Kde:

$$s = \frac{n_s - n}{n_s} \quad (2.2)$$



Obr. 2 Řez asynchronním motorem [2]

Obecně se tyto motory, po připojení na běžnou rozváděcí síť s frekvencí 50 Hz, otáčí rychlostí například 2800 ot/min. Toto číslo je závislé na skluzu daného motoru. To může samozřejmě být u některých aplikací výhodou a u jiných zase nevýhodou. Jelikož je však rychlost otáčení magnetického pole, a tím i samotného motoru, závislá přímo úměrně na frekvenci napájecího napětí, a poté nepřímo úměrně na počtu pólových dvojic, viz vztah (2.1), využívá se k řízení frekvenčních měničů. Ty umožňují libovolně měnit frekvenci napájení asynchronního motoru, a tím i jeho otáčky. Kdyby zvolený omílací stroj byl poháněn asynchronním motorem, bylo by jeho řízení velmi jednoduché. V dnešní době jsou totiž běžně dostupné frekvenční měniče, ve kterých se mohou nastavit různé parametry pro řízení elektromotorů. Dokonce zde jdou velmi jednoduše nastavit i tzv. „rampy“, což jsou prostředky, které umožňují rozběhnout plynule motor z klidového stavu nebo například při změně rychlosti apod. Obecně zaručují velkou možnost individuálního nastavení a plynulého řízení. [2]

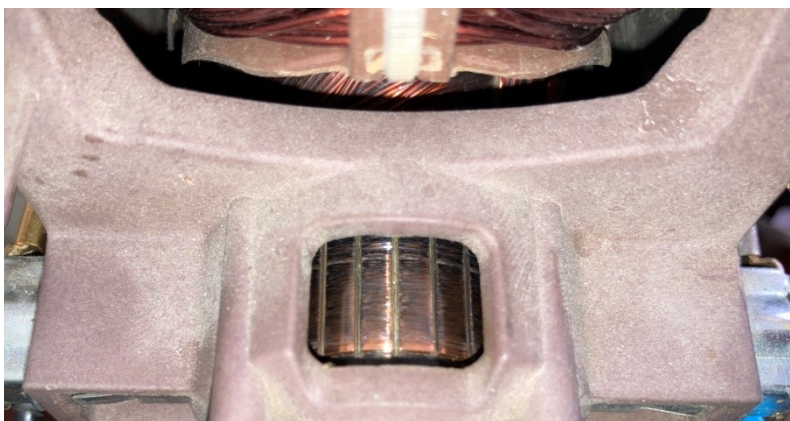


Obr. 3 Frekvenční měnič Yaskawa J1000 [3]

2.2.2 Univerzální / komutátorový

Jednofázové komutátorové motory v sériovém zapojení patří mezi ty vůbec nejstarší elektrické točivé stroje. Přesto je stále nalezneme téměř všude. Jejich výhodou je možnost napájení jak ze zdroje stejnosměrného, tak i střídavého proudu. Jeho univerzálnost je důsledkem obrovské oblasti použití. Nejčastěji se používá jako pohon ručního nářadí (vrtaček, elektrických šroubováků, vysavačů, kuchyňských strojů) nebo například jako motor elektrické zahradní sekačky. Odtud právě pochází i elektrický motor, který byl použit pro pohon vybraného omílacího stroje.

Základním znakem komutátorového motoru je samotný komutátor. Je to věc, díky které je právě schopný být napájen jak ze stejnosměrného, tak i střídavého zdroje. Je to kroužek sedící na rotoru, který se točí společně s rotorem a je na něj přiváděno napětí, které on dále přerušuje. Napětí se na něj musí přivádět pružně, neboť je stále v pohybu, a to se provádí pomocí uhlíků s přísadou mědi, které jsou za pomoci pružin přitlačovány na samotný komutátor. Přes tyto uhlíky je tedy přiváděn budící proud na rotor. Komutátory bývají vyrobeny z vodivých, navzájem izolovaných lamel. Ty bývají nejčastěji z elektrolytické mědi.



Obr. 4 Komutátor zvoleného motoru

Rotor je nejčastěji tvořen elektromagnetem. Právě díky komutátoru se do rotorových cívek pouští stále se přepínající polarita napětí, a tím se mění polarita elektromagnetického pole, která je rotorem vytvořená, což umožňuje motoru konat točivý pohyb.

Stator je tvořen běžnými cívkami. Zvolený univerzální motor má například 2 cívkové vinutí, které byly zapojeny do série. Výhodou však je to, že obě statorové cívky mají vyvedeny začátky i konce vinutí, což výrazně pomohlo při připojování výkonového obvodu.

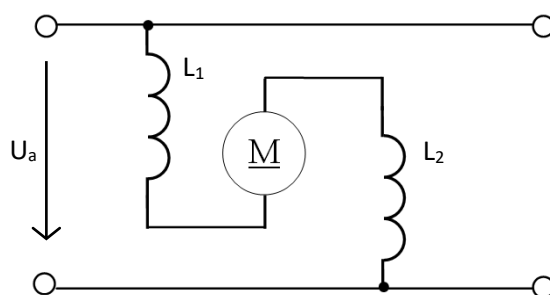
U buzení motoru ze zdroje stejnosměrného proudu je počet otáček závislý na zatížení a také na velikosti napětí ve vinutí rotoru a budícím toku. Tento typ buzení se v této práci právě bude využívat.

U elektrických zahradních sekaček se tedy často používá právě univerzálního motoru, kde jsou však jeho otáčky příliš vysoké, a proto jsou zde pomocí jednoduchého převodu, za pomoci řemenu, upravovány na nižší hodnotu. Tento řemen a i celý redukční převod byl zachován a použit.

2.3 Možnosti zapojení univerzálního elektrického motoru

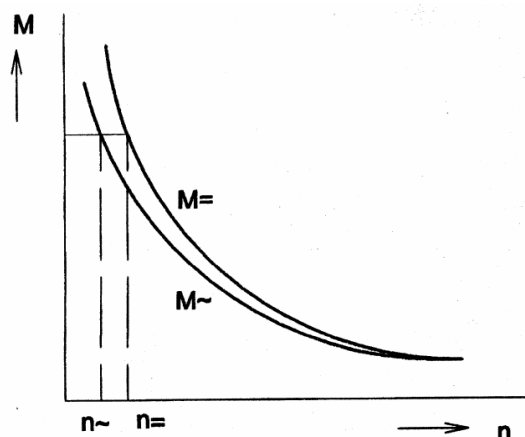
2.3.1 Sériové zapojení

Při tomto zapojení se budí vinutí zároveň s kotvou. Problémem je zde velká závislost mezi otáčkami a zatížením motoru. Dalším problémem je rozběh takového motoru, neboť na rozjezd je potřeba vysokého budícího proudu. Výhodou je poměrně jednoduché řízení, neboť je zde potřeba pouze jednoho zdroje napájení. Při měření tohoto zapojení s motorem naprázdno si bylo třeba dávat pozor, neboť při roztočení bez zátěže se otáčky budou pořád zvyšovat, až by teoreticky mohlo dojít ke zničení motoru.



Obr. 5 Schéma sériového zapojení DC motoru

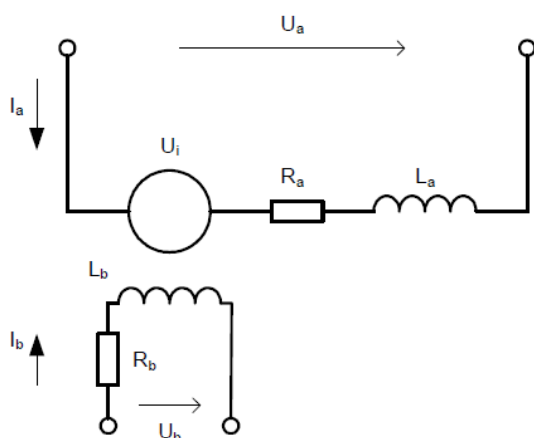
Při reálném měření tohoto zapojení a přemýšlení nad tím, zda by tento způsob byl vhodný pro zvolenou aplikaci, byly naměřeny tyto hodnoty. Na uvedení motoru do pohybu by bylo potřeba napětí přibližně 17 V a proud okolo 2,5 až 3 A. Už toto je obtížněji proveditelné z hlediska napájecího zdroje, který by na takovéto napětí a proudy musel být navržen. Při samotném chodu by se již potřebovalo napětí přibližně 12 V a proud 2 A. Na Obr. 6 můžeme vidět mechanickou charakteristiku sériové zapojení komutátorového motoru, které se hojně využívá například v elektrické trakci, neboť při nízkých otáčkách má nejvyšší moment. To by sice bylo vhodné i pro tuto aplikaci, ale při nesouměrné zátěži by otáčky velmi kolísaly a hůře by se regulovaly.



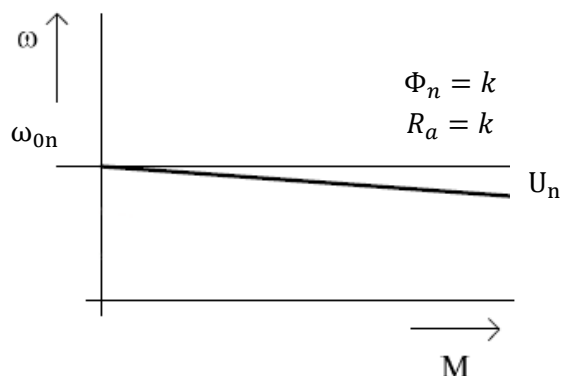
Obr. 6 Mechanická charakteristika komutátorového motoru pro DC a AC napájení [5]

2.3.2 Cizí buzení

Při tomto zapojení je magnetické pole vytvářené statorem, který je napájen ze zdroje stejnosměrného proudu a kotva je napájena samostatně stejnosměrným napětím. Výhodou napájení statoru z cizího zdroje je, že magnetické pole zůstává konstantní po celou dobu provozu. Tento typ zapojení se nejčastěji používá právě pro aplikace, kde se mění zatížení, protože takto zapojený elektromotor má téměř neměnný moment v celém rozsahu otáček – viz Obr. 8. Právě tato vlastnost by byla perfektní pro zvolenou aplikaci, neboť je zátěž syková, velmi nesouměrná, a ve válci nebo nádobě se stále přelévá. Toto zapojení bylo nakonec i použito. Při měření se zjistilo, že ideální bude budít statorové cívky zdrojem proudu přibližně 3 A. Napětí rotoru se bude regulovat za pomoci pulzně šířkové modulace, kterou bude generovat mikrokontrolér ATmega32 v závislosti na zpětné vazbě z hallové sondy umístěné na motoru.



Obr. 7 Schéma DC cize buzeného motoru [5]



Obr. 8 Mechanická charakteristika cize buzeného DC motoru [5]

3 Omílání

Proces omílání se stává velmi populárním způsobem finální úpravy povrchu obrobků. Každý obrobek vzniklý v jakémkoliv výrobním procesu, například lisováním, CNC obráběním, řezáním apod. má spoustu ostrých hran, otřepů, stop po nástrojích a jiných nedokonalostí. Všechny těchto nedokonalostí se právě dá zbavit při procesu omílání, kdy se pouze využívá kontaktu obrobků s omílacími tělísky. Keramické odštěpky, kameny, plastové kužely, to vše se používá a vytváří jiný finální povrch. Omílací stroje se také často využívají pouze pro leštění, například ve šperkařství. Zde se bavíme o velmi malých stolních omílačkách, do kterých se dávají leštící tělíška. [6]

3.1 Profesionální omílací stroje

V technické praxi se již dlouhá léta používají určité druhy omílacích strojů. K asi cenově nedostupnější a nejrozšířenější variantě patří tzv. kruhový nebo také diskový omílací stroj. K pohonu těchto strojů se nejčastěji využívá asynchronního motoru, řízeného z frekvenčního měniče. Je to totiž nejjednodušší a nejekonomičtější způsob řízení pro tento typ strojů. Použití asynchronního motoru lze ostatně vidět i na profesionálním omílacím stroji od firmy Otec na Obr. 10, který se nachází i v prostorách VŠB.

Volba samotného omílacího média je kritická, poněvadž přímo určuje finální podobu obrobku po omílání. Omílací médium slouží jako abrazivum, které je v přímém kontaktu s obrobkem a koná veškerou „omílací práci“. Druh abraziva se vždy liší podle toho, co se má s obrobkem stát. Dělí se na 2 hlavní kategorie. První jsou určena pro hrubější úpravy, zjemnění povrchu, zaoblení ostrých hran a odstranění otřepů. Často se používají různé druhy kamení, keramiky, apod. Druhou kategorií jsou abraziva pro finální leštění povrchů. Zde se jedná například o porcelánových jehlách, nebo plastových kuželech.

Poslední, avšak neméně důležitou součástí při omílání je samotný kompaud. Je to roztok, který se přidává při procesu mokrého omílání. Zaručí to, že obrobky budou lesklé, čisté a hlavně bez koroze. Při mokrému omílání je totiž běžné, že obrobky mají po vytažení a vysušení všechny povrchovou korozi. Ta se dá sice poměrně jednoduše odstranit, například smirkovým papírem, ale tento proces je zbytečně zdoluhavý, když se mu dá zcela vyhnout použitím správného kompaudu. Nakonec ještě kompaud chrání obrobky před vzájemným poškozením, které vzniká nárazy obrobků mezi sebou. [5]

3.1.1 Kruhový / odstředivý omílací stroj

Tento druh omílacího stroje dosáhl své popularity zřejmě kvůli poměrně jednoduché konstrukci, nízkých provozních nákladů a také cenové dostupnosti. Základ tvoří statická nádoba a otočné dno. Do nádoby se společně vloží obrobky s daným typem abraziva a pomocí speciálního dávkovače se přidává i kompaud. Technicky nejsložitější částí tohoto stroje je zaručit spojení mezi pohyblivým dnem a nepohyblivou nádobou tak, aby se zamezilo úniku vody, kompaudu a samozřejmě i případných součástí nebo abrazivního média.

Základem zde je to, že se obrobky společně s abrazivem točí uvnitř velké nádoby, buď na sucho, nebo za přítomnosti vody s kompaudem, a vytvoří společně tvar toroidu (Obr. 9). Tím je docíleno dokonalého omletí všech obrobků ze všech stran.



Obr. 9 Pohled dovnitř odstředivého omílacího stroje

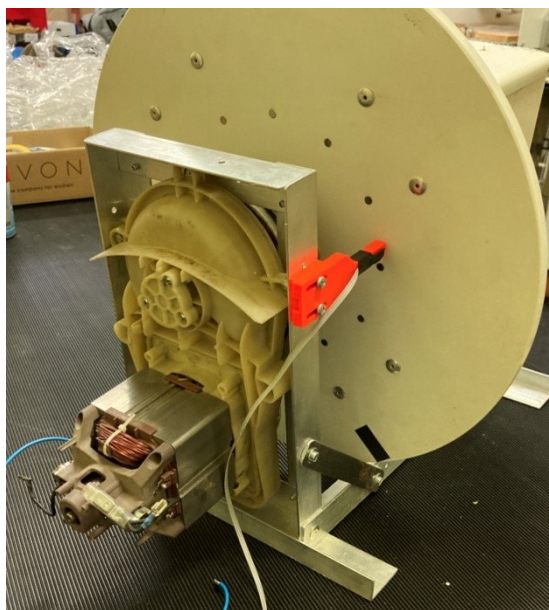


Obr. 10 Omílací stroj značky Otec v prostorách VŠB

Tento druh omílacího stroje se nachází i na VŠB (Obr. 10). Jedná se tedy o omílací stroj od firmy Otec z výrobní řady CF Element. Tento stroj je velmi kompaktní, lehce se ovládá, umožňuje zapamatování si nastavení jednotlivých omílacích cyklů, snadno se vyprazdňuje a zaručuje vždy bezchybné omletí. [7]

3.2 Vybraný omílací stroj

Jak již bylo zmíněno, k dispozici byl již vytvořený omílací stroj, který sice mechanicky fungoval, ale potřeboval ke své funkčnosti být regulován. Základem tohoto omílacího stroje je tedy komutátorový motor ze zahradní sekačky. Bohužel na tomto motoru není žádný štítek, ani nešlo zjistit, z přesně jakého typu sekačky pochází, tudíž o tomto motoru nejsou známy žádné přesnější údaje. Naštěstí je není třeba pro tuto aplikaci znát, protože tento motor byl stavěný na síťové napětí, tudíž při zvoleném provozu se nebude využívat ani z poloviny svého potenciálu.



Obr. 11 Komutátorový motor s redukčním převodem pohánějící omílací stroj

Výhodou tohoto motoru je to, že má vyvedené všechny konektory pro rychlé zapojení obou statorových cívek a rotoru, dokonce i s tepelnou pojistkou. Tento fakt velmi usnadnil celou manipulaci s motorem, experimenty s různými zapojeními a nacházení toho nejlepšího.

U motoru je již zabudován redukční převod, který zpomaluje rychlost výstupní hřídele. Na této hřídeli je připevněn talíř z bílé HPS o tloušťce 10 mm a průměru 40 cm. Na tomto talíři už je pouze uchycen čtverec ze stejného materiálu o tloušťce 3 mm a délce strany 20 cm, do kterého se následně umístí 4 speciální nádoby určené k omílání. Do těchto nádob se vkládají omílací tělíska společně s obrobky, vodou, trochou mýdla a zajistí se proti vypadnutí.

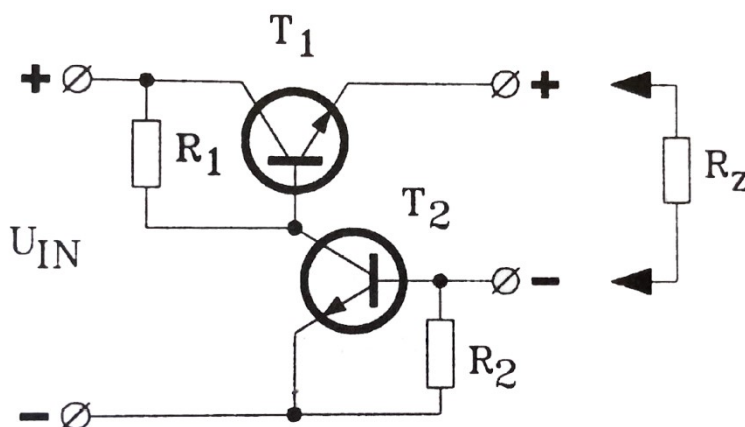


Obr. 12 Pohled zepředu na naplněný omílací stroj připravený ke spuštění

4 Zdroj konstantního proudu

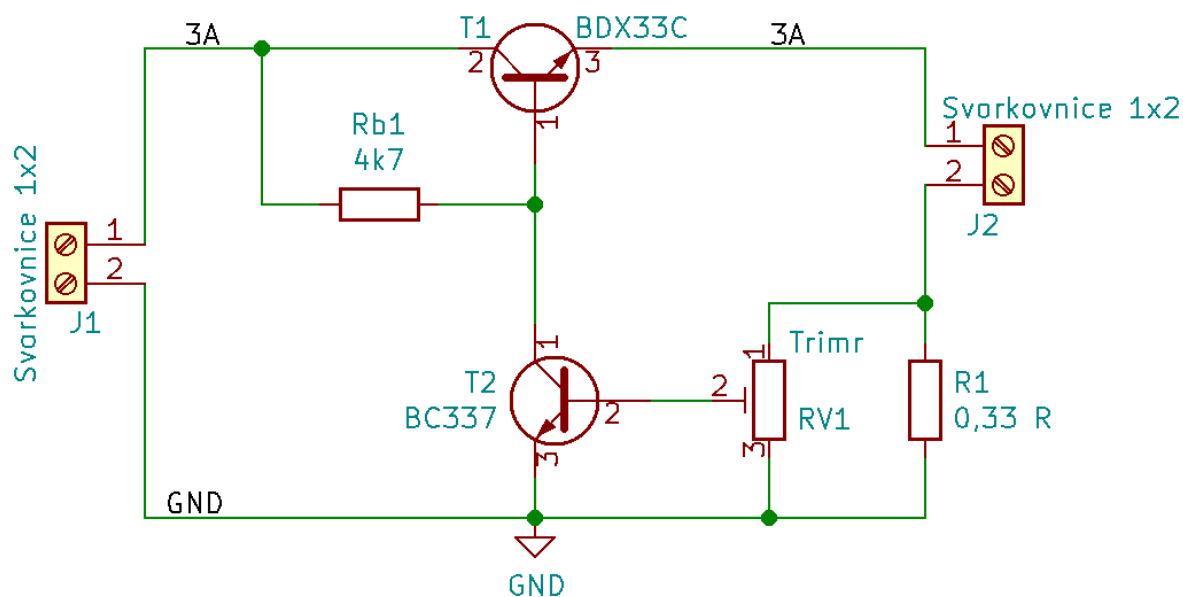
Pro komutátorový motor v zapojení s cizím buzením je potřeba, jak je již v názvu, cize budit statorové cívky zdrojem proudu. Při měření na motoru bylo změřeno, že bude potřeba budit stator proudem přibližně 3 A. Jelikož se však proudový zdroj nedá běžně koupit, bylo potřeba ho navrhnout a vyrobit.

Možností, jak takový zdroj proudu vyrobit je samozřejmě mnoho. Přes spínané zdroje, stabilizátory napětí apod. Nakonec byla zvolena cesta možná méně konvenční, jednoduchá a používající základní elektrotechnické principy. V knize Napájecí zdroje I od pana Alexandra Krejčířika se nachází tento zajímavý zdroj konstantního proudu - Obr. 13, který využívá dvou tranzistorů. Tranzistor T_1 je tranzistorem výkonovým, přes který prochází zvolený proud a tranzistor T_2 již je obyčejný, který pouze přivírá ten první tím, že z báze odvádí část budícího proudu.



Obr. 13 Schéma zapojení zdroje konstantního proudu [8]

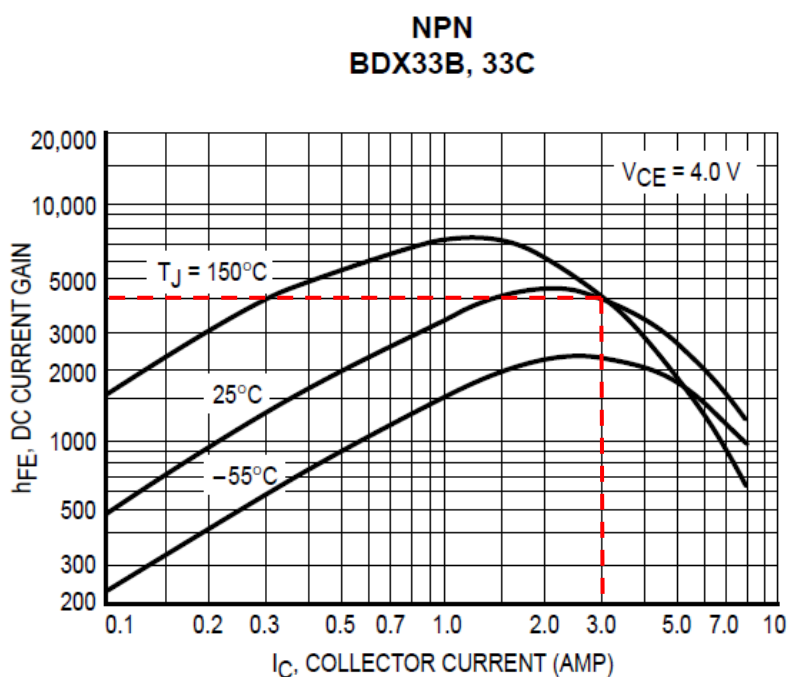
Toto zapojení je sice ve své podstatě dobré, ale jeho hlavní nevýhodou je, že takto zapojené by se součástky spočítaly pouze pro daný proud, který by obvod dodával, tudíž by nebyla možná žádná regulace. Proto bylo potřeba tento obvod lehce upravit tak, že se paralelně s odporem R_1 zapojil ještě trimr, který umožňuje změnu napětí na bázi druhého tranzistoru, a tím ho otevírá nebo přivírá. Tímto jednoduchým způsobem se reguluje proud, který tento obvod dodá. Upravené schéma je i s vypočtenými hodnotami součástek na Obr. 14.



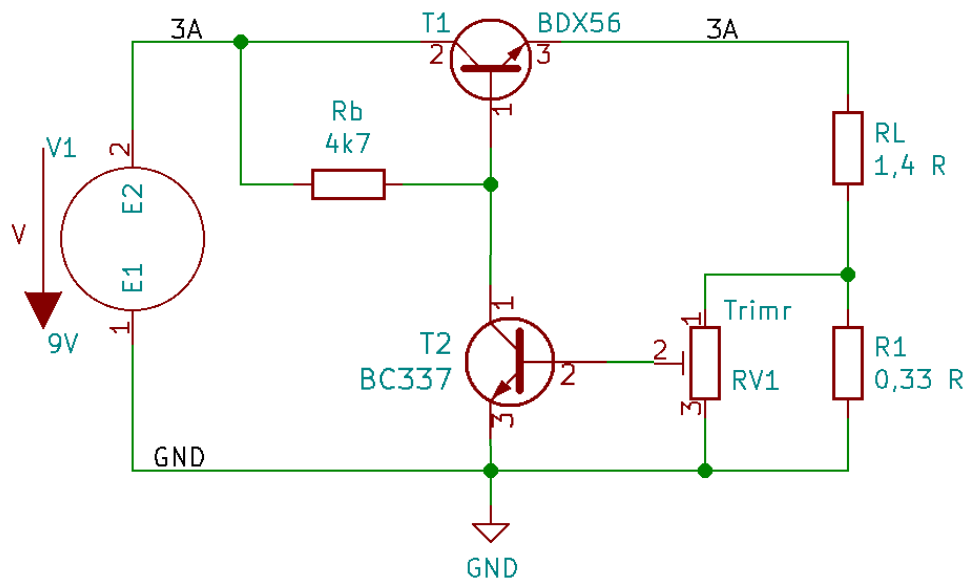
Obr. 14 Upravené schéma zapojení zdroje konstantního proudu s regulací

4.1 Výpočty pro návrh zdroje konstantního proudu

Zátěž R_L představuje odpor statorových cívek, který byl změřen na $R_L = 1,4 \, \Omega$. Počítá se se zdrojem napětí 9 V. Vzhledem k tomu, že obvod bude napájen ze step-down měniče, tak toto napětí se bude moct dle potřeby měnit. Jako výkonový tranzistor T_1 byl zvolen BDX33C. Je to výkonový Darlingtonový tranzistor pro proud 10 A a napětí 100 V. Důležité je znát zesílení tohoto tranzistoru, aby se vědělo, jak velkým proudem báze ho bude potřeba budit. To bylo vyčteno z grafu přiloženého v datasheetu, na Obr. 15. Pro proud $I_C = 3 \text{ A}$ je proudový zesilovací činitel $h_{21e} = 4000$.



Obr. 15 Závislost proudového zesilovacího činitele h_{21e} na proudu kolektorem [9]



Obr. 16 Schéma pro výpočet všech potřebných součástek

Výpočty:

$$I_{B1} = \frac{I_{C1}}{h_{21e}} = \frac{3}{4000} = 0,75 \cdot 10^{-3} = 0,75 \text{ mA} \quad (4.1)$$

$$U_{B2} = U_{RL} + U_{BE1} = (1,4 \cdot 3) + 1,2 = 5,4 \text{ V} \quad (4.2)$$

$$U_{Rb} = 9 - U_{B1} = 9 - 5,4 = 3,6 \text{ V} \quad (4.3)$$

$$R_b = \frac{3,6}{75 \cdot 10^{-3}} = 4800 \Omega \rightarrow \text{z řady volím } 4k7 \quad (4.4)$$

$$U_{CE} = 9 - 0,99 - 4,2 = 3,81 \text{ V} \quad (4.5)$$

Na Odporu R_1 je potřeba mít přibližně 1 V, aby bylo možné paralelně zapojeným trimrem rozumně měnit napětí na bázi tranzistoru T_2 . Trimr, který je zapojen paralelně k odporu R_1 se zvolil lineární s rozmezím 0-100 Ω .

$$R_1 = \frac{U_{R1}}{I_{R1}} = \frac{1}{3} = 0,33 \Omega \quad (4.6)$$

4.2 Ztrátové výkony a dimenzování součástek

Při vytváření zdroje, který má dodávat konstantní proud 3 A, je třeba vypočítat ztrátové výkony na hlavních součástkách, aby se mohly vybrat takové, které daný výkon snesou, a případně k nim vybrat i vhodné chladiče.

Ztrátové výkony:

$$P_{Rb} = U_{Rb} \cdot I_{B1} = 3,6 \cdot 0,75 \cdot 10^{-3} = 2,7 \text{ mW} \quad (4.7)$$

$$P_{R1} = U_{R1} \cdot I_{R1} = 0,99 \cdot 3 = 3 \text{ W} \quad (4.8)$$

$$P_{T1} = U_{CE1} \cdot I_{C1} = 3,81 \cdot 3 = 11,43 \text{ W} \quad (4.9)$$

Z rovnic 4.8 a 4.9 vyplývá, že nejkritičtější bude správně vybrat a dimenzovat tranzistor T_1 společně s jeho chladičem, a také odpor R_1 , který bude muset být také výkonový.

Jako tranzistor T_1 byl vybrán Darlington BDX33C v pouzdře TO220, který však bude muset být upevněn na chladič. Výběr správného chladiče se provede za pomoci výpočtu:

$$T_j = P_{T1} \cdot (R_{\theta jc} + R_{\theta ch} + R_{\theta ha}) + T_a = 12 \cdot (1,78 + 3,6) + 25 = 90 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (4.10)$$

Kde:

T_j – Teplota PN přechodu ($^\circ\text{C}$)

P_{T1} – Ztrátový výkon tranzistoru (W)

$R_{\theta jc}$ – Tepelný odpor mezi přechodem PN a obalem (W/K)

$R_{\theta ch}$ – Tepelný odpor chladiče (W/K)

$R_{\theta ha}$ – Tepelný odpor mezi chladičem a okolím (W/K) (tento se zanedbává)

Z rovnic se vypočetlo, že s vybraných chladičem, který má tepelný odpor 3,6 W/K, bude mít přechod PN přibližně 90 $^\circ\text{C}$. Tato hodnota je naprosto v pořádku, neboť všechny výkonové obvody budou navíc chlazeny přídavným větrákem.

Dále se vypočetlo, že na odporu R_1 bude ztrátový výkon 3 wattů. To je poměrně dost, tudíž bude potřeba použít výkonový rezistor, který je schopen lépe odvádět teplo a neroztaví se. Vhodný je například keramický výkonový rezistor, který má ztrátový výkon až 5 W. To v praxi znamená, že vydrží dlouhodobě výkon 3 wattů, ale bude dosahovat vyšších teplot. Není zde ale důvod předimenzovávat tento rezistor ještě více. Navíc, když se ještě počítá s přídavným nuceným chlazením všech desek.

4.3 Návrh a realizace výkonové části pohonu

Po návrhu obvodu, který bude dodávat konstantní proud do statorových cívek, bylo potřeba k němu navrhnout i zdroj napájení, který bude schopen tento proud dodávat. Zásadní tedy je, aby se vybral transformátor s dostatečným výkonem, aby dokázal dodat minimálně 3 ampéry při 9 voltech. Tudiž musí být schopen dodat výkon alespoň 27 VA. To by samozřejmě nestačilo, tudíž bylo třeba najít transformátor s lepšími parametry, vhodný pro tento účel.



Obr. 17 Transformátor TR-EI6633 40VA/2x9V [10]

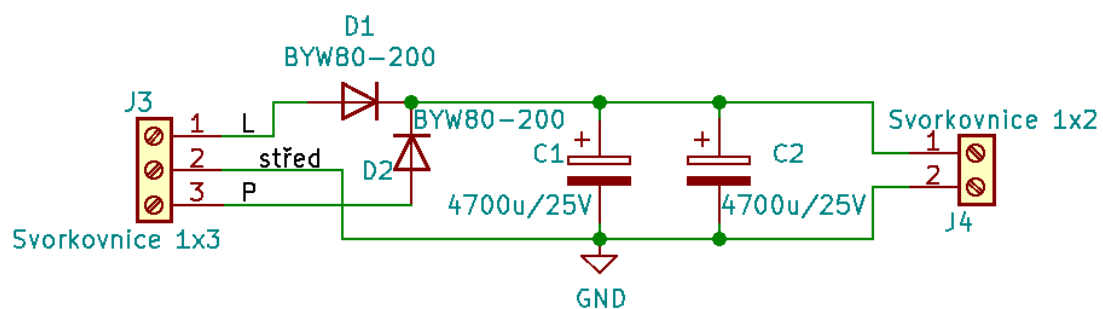
Tento transformátor (Obr. 17) má 2 výstupy 9 voltové, což se může zdát, že by stačil jen jeden, ale problém je ten, že maximální proud pro každé vinutí je jen 2,2 A. Tím pádem bylo potřeba tyto 2 výstupy zapojit do série, čímž se získá sice zbytečně velké napětí – 18 V, ale již bude schopen dodávat potřebný proud. Tak vysoké napětí však problém nedělá, protože se stejně bude používat step-down měnič, pomocí kterého se nastaví výstupní napětí podle potřeby.

Tím, že transformát bude mít vyvedený i střed, je možné usměrnění provést pouze pomocí 2 výkonových diod BYW80-200, které snesou proud až 10 A. Tím se dostane klasický „tepavý“ průběh kladného napětí s frekvencí 100 Hz, který je třeba vyhladit za pomoci kondenzátoru, aby se docílilo stejnosměrného proudu. Nebo spíš tedy průběhu velmi blízkému průběhu stejnosměrnému.

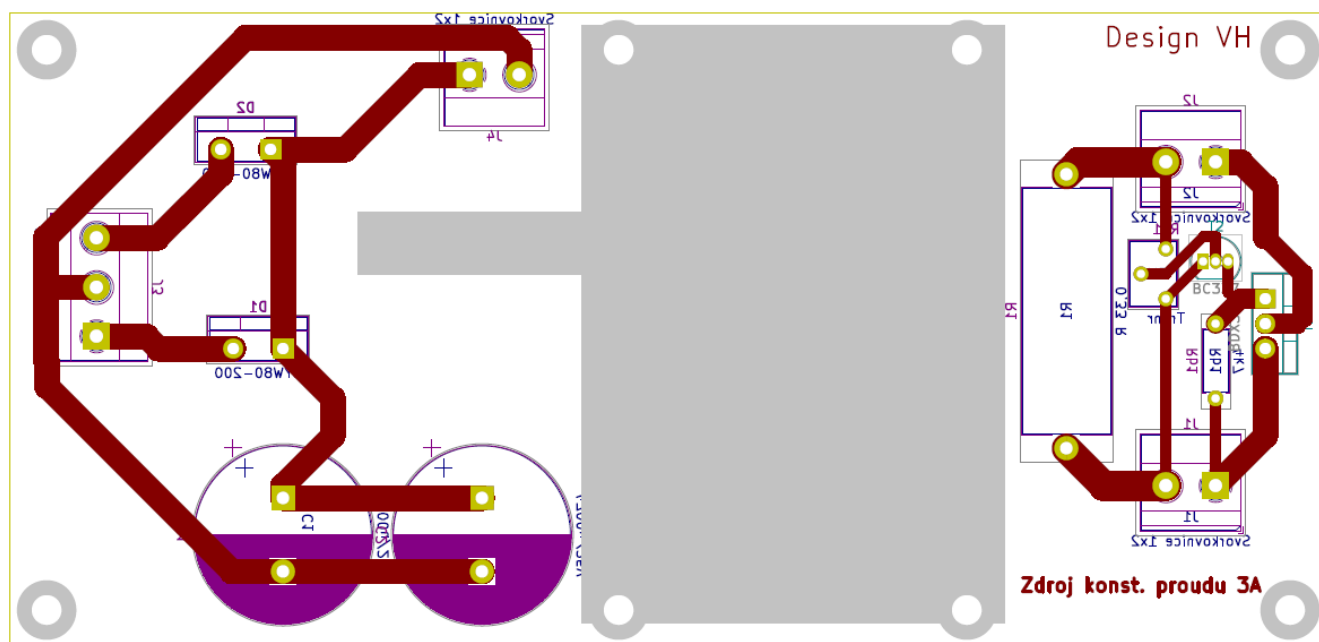
Výpočet kapacity potřebné pro vyhlazení průběhu:

$$\tau = R \cdot C \rightarrow C = \frac{\tau}{R} = \frac{10 \cdot 10^{-3}}{1,4} = 7,14 \cdot 10^{-3} \text{ F} \quad (4.11.)$$

Zvolená kapacita kondenzátoru by neměla být nižší, ale vyšší rozhodně být může. Nakonec bylo rozhodnuto dát 2 kondenzátory 4700 μF / 25 V paralelně, tudíž jejich výsledná kapacita bude 9400 μF , což je více než dostačující.



Obr. 18 Schéma obvodu pro usměrnění síťového napětí pro step-down měnič



Obr. 19 Návrh desky plošných spojů pro usměrňovač, step-down měnič a zdroj konstantního proudu

Na svorkovnici J3 budou tedy připojeny vývody transformátoru a ze svorkovnice J4 se bude napájet step-down měnič, který následně upraví již usměrněné napětí na zvolenou hodnotu. Ideální napětí pro další zpracování je 9 voltů, ale výhodou bude možnost regulace pro případnou optimalizaci.

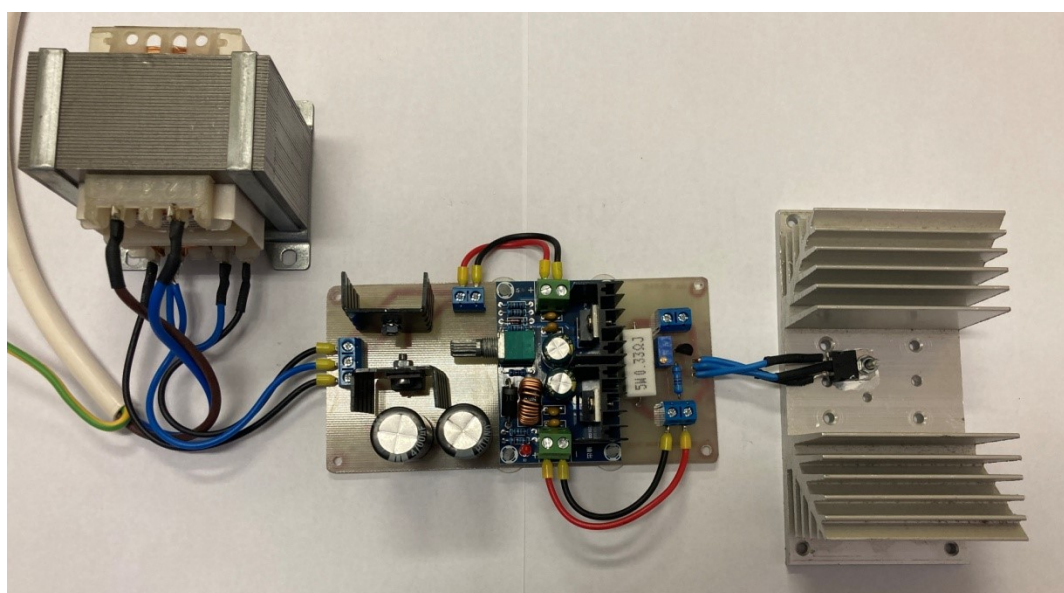
Jako step-down měnič byl použit již hotový modul, který by měl snést proud až 8 A a mít možnost regulace napětí od 1,25 do 36 V, což je pro tuto aplikaci více než dostačující.



Obr. 20 Step-down měnič 8A, modul HX-M401 [11]

Na návrhu desky plošných spojů (Obr. 19) lze vidět, že se všechny 3 obvody nutné pro cizí buzení motoru umístily na jednu desku. Toto řešení bylo zvoleno kvůli kompaktnosti celého zapojení. Uprostřed se nechalo místo právě na step-down měnič a společně všechny tyto 3 obvody propojují dráty přes svorkovnice.

4.3.1 Realizace DPS



Obr. 21 Realizace DPS pro napájení statoru

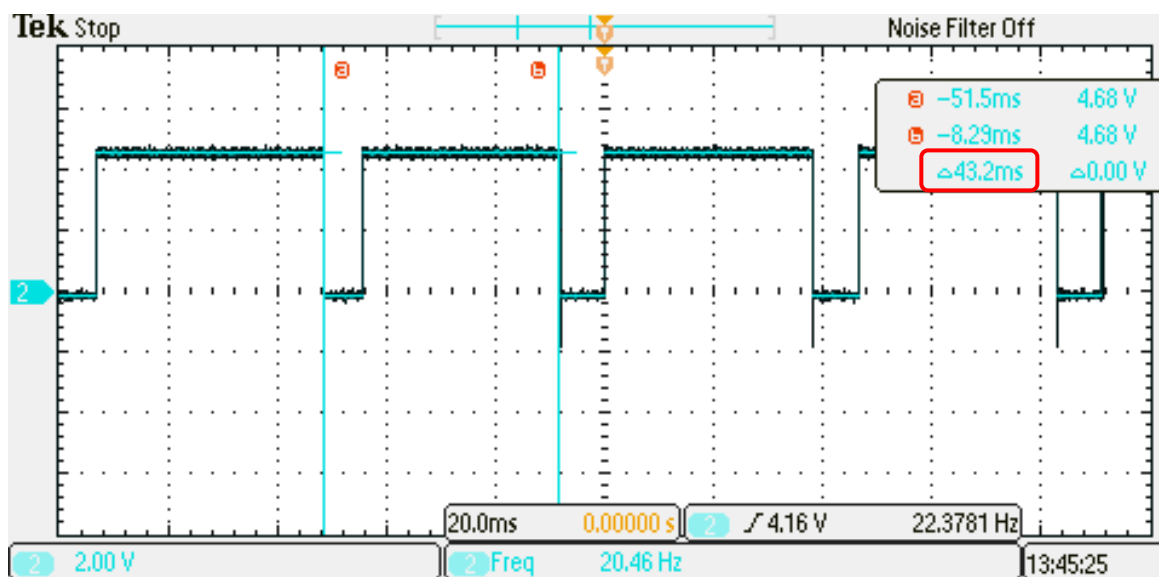
5 Realizace zpětné vazby pomocí Hallové sondy

Každá regulace musí mít informaci o aktuálním stavu regulované veličiny. To samozřejmě platí i v tomto případě. Pokud se mají regulovat otáčky rotoru, musí být prvně informace o tom, jaké jsou jeho skutečné otáčky. Možností, jakou zpětnou vazbu použít bylo více, například indukční snímač, infračervený nebo jiný optický snímač, ale některé tyto způsoby nejsou pro tuto aplikaci úplně vhodné. Indukční snímač nepřicházel v úvahu už jen kvůli velkému vlivu vzduchové mezery mezi magnetem a snímačem, což by u zvoleného omílačního stroje byl značný problém kvůli tomu, že jeho konstrukce není bezchybná, tudíž bychom nemohli počítat s konstantní vzduchovou mezerou. Optické snímače nepřichází v úvahu z důvodu vysoké prašnosti v místě provozu.



Obr. 22 Provedení Hallové sondy [12]

Nakonec byla zvolena Hallůva sonda - Obr. 22. Hallův snímač funguje na tom principu, že destičkou z polovodičového materiálu prochází proud, který je vychylován do stran destičky magnetickým polem. Když tedy před sondou projede magnet, nabitě částice se vychýlí na stranu destičky a vznikne tzv. Hallovo napětí, které je následně snímáno. Velikou výhodou je právě to, že zde nehraje žádnou roli vzduchová mezera, a že výstupní průběh má čistý obdélníkový tvar. Amplituda tohoto napětí je pak závislá pouze na vstupním napětí, kterým je sonda napájena.



Obr. 23 Průběh výstupního napětí Hallové sondy při 116 ot/min

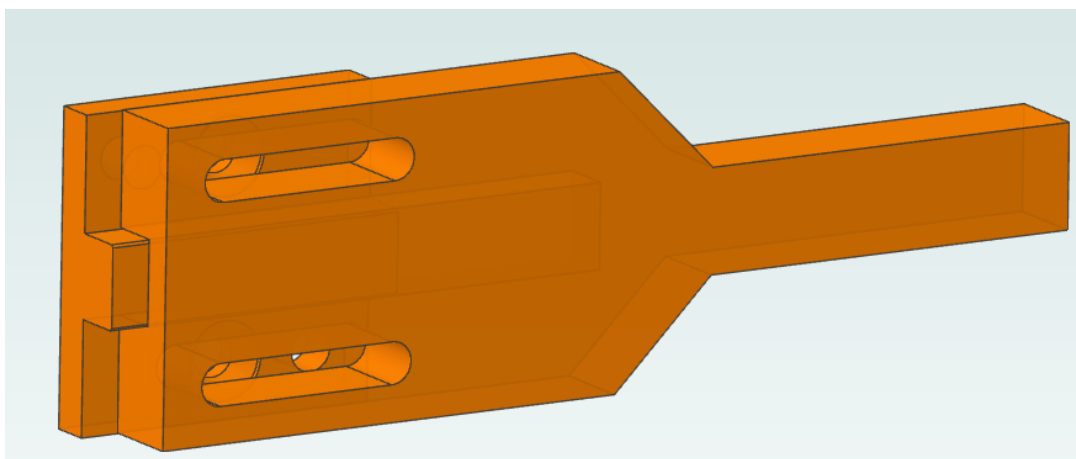
Z takového průběhu jako je na Obr. 23 se poté vypočítají otáčky hřídele. Stěžejní je tedy doba mezi magnety – vyznačená perioda. Otáčky se počítají i v programu následujícím způsobem:

$$T = \frac{60}{\omega} \rightarrow \omega = \frac{60}{12 \cdot T} \rightarrow \omega = \frac{60}{12 \cdot 43,2 \cdot 10^{-3}} \cong 116 \text{ ot/min} \quad (5.1)$$

Na Obr. 23 je tedy znázorněn průběh výstupního napětí z Hallovy sondy. Je napájena napětím 5 V a na průběhu jde vidět, jak jednotlivé magnety projely před sondou, která to zaznamenala a na výstup dala 0 V. Je důležité, aby při průchodu magnetu byla na výstupu právě logická nula, neboť to přesně je potřeba pro mikrokontrolér. Takto zapojená sonda se chová pro mikrokontrolér stejně, jako kdyby místo ní bylo zapojeno tlačítko. Při sepnutí se pin uzemňuje. Při prvních testech totiž bylo místo Hallovy sondy zapojeno pouze tlačítko.

Velmi důležité je také samotné rozmístění magnetů po obvodu kruhu, na kterém je upevněna velká čtvercová nádoba, do které se následně dávají menší nádoby na samotné omílání. Bylo rozhodnuto, že ideální bude 12 magnetů rozmístěných po obvodu, aby byla zajištěna přesnější zpětná vazba, neboť tím pádem na jednu otáčku připadá 12 impulsů ze sondy. Následně byly navrtány díry pro magnety, které byly přilepeny vteřinovým lepidlem. Stěžejní zde bylo dobře nasměrovat magnety, aby jejich polarita směřovala vždy stejným směrem, jinak by je Hallova sonda nezaznamenala.

Nakonec již bylo jen třeba vymyslet, jak Hallovu sondu uchytit na držák motoru. Cílem je totiž, aby se dala nastavit její vzdálenost od magnetů, a zároveň, aby sonda na držáku nekmitala. Proto byl navržen model v programu Alibre Design, který byl následně vytisknut z materiálu PET na 3D tiskárně Průša MKIII S.

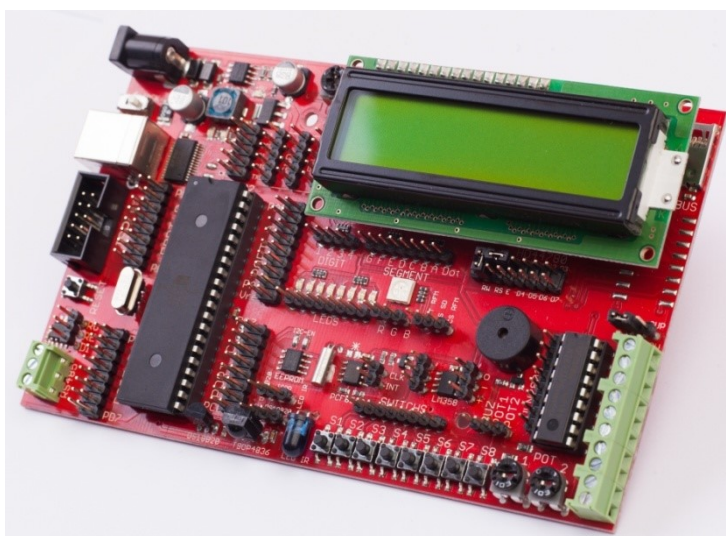


Obr. 24 3D model Držáku Hallovy sondy v programu Alibre Design

6 Návrh a realizace řídicí části pohonu

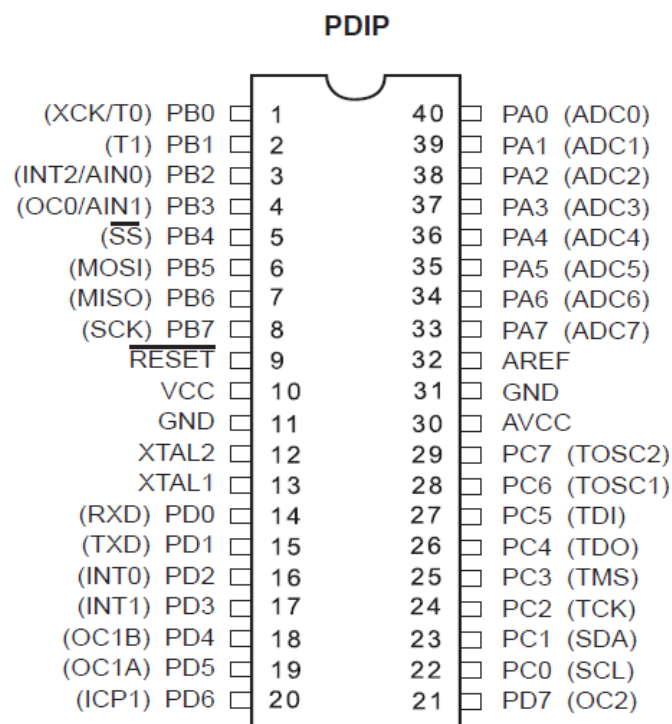
Po návrhu napájení statorových cívek je teď potřeba navrhnout obvod pro regulaci otáček motoru skrz napájení rotoru. Nakonec byla vybrána regulace pomocí PWM generované přímo z mikrokontroléru. Hlavně z důvodu samotného ladění, neboť program se dá vždy upravit a postupem času v provozu přicházet na chyby a celý výrobek tím optimalizovat.

Všechny počáteční pokusy a prvotní ladění byly prováděny na vývojové desce EVB 5.1 (Obr. 25), která je osazena mikrokontrolérem ATmega32 a je speciálně navržena pro začátečníky v programování, neboť umožňuje vyzkoušení si různých nápadů před tím, než se vyrobí finální DPS. Taky obrovskou výhodou je možnost naprogramování skrz sériovou linku rovnou z počítače, tudíž změny programu byly velmi rychlé a bezproblémové.



Obr. 25 Vývojová deska EVB 5.1 [13]

Další poněkud netradiční věcí byl jazyk, ve kterém se programovalo. Jazyk Bascom totiž v dnešní době není úplně nejpoužívanějším programovacím jazykem, ale pro tento účel byl více než dostačující. Hlavní a asi největší výhodou tohoto programovacího jazyku je jeho přehlednost. Všechny základy tohoto jazyka navíc byly velmi přehledně popsány v knížce „Programování v jazyce Bascom“. Tím pádem samotná tvorba programu nebyla tak obtížná.



Obr. 26 Rozložení pinů procesoru ATmega32 [14]

6.1 Ukázka programu v jazyce Bascom

```

1
2 ..... UVOD .....
3
4 ' Tento program slouží jako PWM ovládání napětí rotoru omládacího stroje pro mou BP.
5 ' Casovac Timer0 čítá v pozadí a do proměnné Cas_ms připisuje milisekundy
6 ' Tyto milisekundy se po příchodu signálu z Hallovy sondy vynulují a začne čítání
7 ' Za pomoci výpočtu se poté z těchto signálů určí rychlost otáčení stroje
8 ' Navrženo pro procesor AtMega32
9
10 $regfile = "m32def.dat"           'Soubor s deklaracemi
11 $crystal = 16000000               'Kmitočet oscilátoru v Hz
12 $hwstack = 100
13 $swstack = 64
14 $framesize = 64
15 $baud = 9600                      'Komunikační rychlost
16
17
18 Config Timer1 = Pwm , Pwm = 10 , Prescale = 1 , Compare A Pwm = Clear Up
19 Config PORTD.5 = Output           'výstup šířkově modulovaného signálu pro TIMER1
20 Enable Timer1
21
22 Start Timer1
23
24 Config Timer2 = Timer , Prescale = 64
25 On Ovf2 Tim2_isr                  'při přetečení skáče na Tim2_isr
26
27 Enable Timer2
28 Enable Interrupts
29 Start Timer2
30
31
32 Config ADC = Single , Prescaler = Auto , Reference = Avcc

```

Obr. 27 Ukázka začátku kódu a nastavení obou časovačů v jazyce Bascom

```

77 Print "Regulace otacek rotoru, kod 4.0 - 25.4.2021"
78
79 Do
80
81 Predchozi = T1
82 Waitus 200 'Cekej 200 microS aby byla zaznamenana zmena v hallove sonde
83
84 W = Getadc(1) ' Tady leze hodnota 0-1023
85 Adc_inv = 1024 - W 'Aby se pridavalo doprava
86
87     Pvm1a = N
88
89
90     If T1 = 0 Then 'Cteni tlacitka pro rozhodnuti zda bylo zmacknuto
91     If Predchozi = 1 Then
92         If Cyk < 3 Then
93             Cas_prum = Cas_prum + Cas_ms
94             Incr Cyk
95         Else
96             Cas_prum_mag = Cas_prum / 4
97             Cas_mezi_mag = Cas_prum_mag * 5
98             Cyk = 0
99             Cas_prum = 0
100         If Cas_mezi_mag > Adc_inv Then
101             If N > 10 Then
102                 N = N - 2
103                 Print "N- " ; N
104             End If
105         Else
106             If N < 1010 Then
107                 N = N + 2
108                 Print "N+ " ; N
109             End If
110         End If
111
112         05w = N - Adc_inv
113         If 05w > 150 Then
114             If N > 210 Then
115                 N = N - 20
116                 Print "N- " ; N
117             End If
118         Else
119             If N < 800 Then
120                 N = N + 20
121                 Print "N+ " ; N
122             End If
123         End If
124
125         ..... Vypocet a vypis otacek
126         Otacky12 = Cas_ms * 12
127         Otacky = 60000 / Otacky12 ' Otacky pocitam jako (60000/12*cas_ms)
128         Print "Ot =" ; Otacky
129         Print "Ot =" ; Otacky ; " adc =" ; W ; " N=" ; N
130         Print Cas_ms
131         Print "Cm " ; Cas_mezi_mag ; " ad" ; W
132     End If
133
134     .....
135     A = 0
136     Cas_ms = 0
137
138 End If
139 End If
140
141 Loop

```

Obr. 28 Hlavní (regulační) smyčka programu

6.2 Popis programu

V této části budou stručně popsány základní myšlenky nebo procesy v kódu.

Na začátku (Obr. 27) je třeba si zvolit správný typ mikrokontroléru, frekvenci krystalu a komunikační rychlost sériové linky pro čtení kontrolních výpisů.

Dále jsou používány 2 časovače, které mikrokontrolér ATmega32 nabízí. Timer1 se dá naprogramovat jako generátor PWM signálu na pinu PD5. Ten byl nastaven jako 10 bitový, aby hodnota střídý a hodnota z AD převodníku byla ve stejném rozmezí 0 až 1023. Timer2 se používá, aby měřil čas mezi jednotlivými impulzy, které přijdou ze zpětné vazby, a které určují rychlost otáčení hřídele. Timer2 tedy běží pořád na pozadí a inkrementuje se každou milisekundu proměnná „Cas_ms“. Po příchodu impulsu se tato proměnná vynuluje a počítá se čas do dalšího impulsu, kdy se hodnota vyčte a opět vynuluje. Tímto způsobem je tedy přesně určen čas mezi 2 magnety. Nakonec se ještě na základě testů rozhodlo počítat průměrný čas ze 4 impulsů Hallovy sondy, aby se docílilo plynulejší regulace.

Již zmíněný AD převodník je nastavený na referenci 5 voltů a využívá port PA1 jakožto (ADC1). Hodnotu AD převodníku zaručuje lineární trimr s rozmezím 0 – 10 K Ω . V kódu se jeho hodnota však invertuje z toho důvodu, aby se otáčky trimrem přidávaly po směru hodinových ručiček.

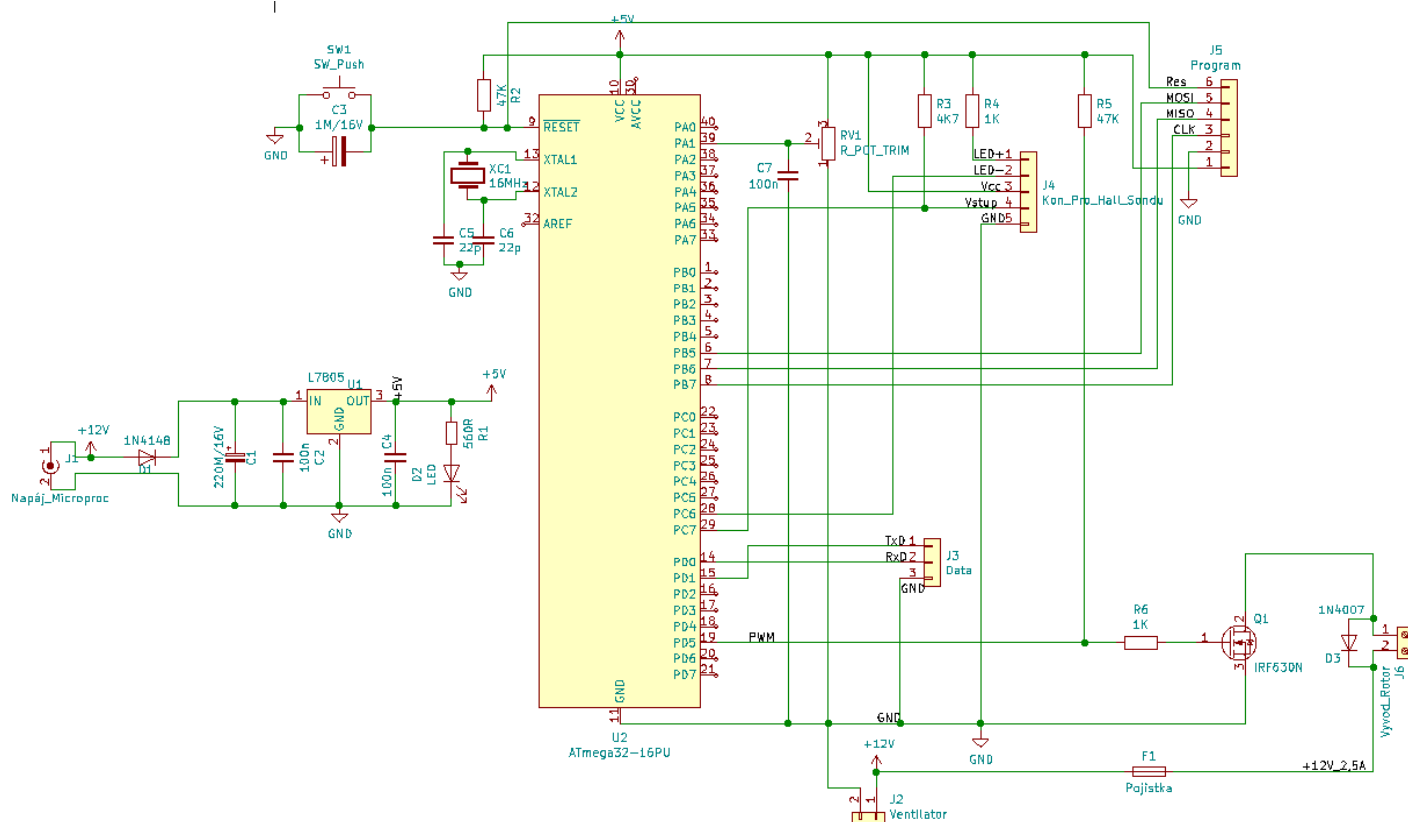
Při prvotních testech bylo místo Hallovy sondy připojené pouze tlačítko, které zastupovalo její funkci. Tlačítko, později Hallova sonda je připojené na pin PC7.

Celá regulace poté probíhá v hlavní smyčce programu, kdy jsou trimrem nastavené žádané otáčky motoru. Ty se přes AD převodník převedou na hodnotu 0 až 1023. Dále bylo zjištěno, že když se čas mezi jednotlivými magnety vynásobí 10, bude se jeho hodnota pohybovat někde v polovině hodnoty z AD převodníku. To umožní tyto 2 hodnoty ihned porovnat a podle toho zvýšit nebo snížit střidu PWM signálu, a tím přímo ovlivňovat otáčky motoru.

Na Obr. 28 jde také vidět proces přidávání nebo ubírání střídý PWM signálu vzhledem k žádané hodnotě. Proměnná „N“ značí PWM a proměnná „Adc_inv“ značí hodnotu z AD převodníku. Také je zde vidět, že při běžném provozu, malé regulační odchylce, je přidáváno nebo ubíráno PWM pouze o 2. Tato regulace je označována za jemnou. Pokud se však žádaná hodnota otáček od aktuální bude velmi lišit, mění se PWM o 20. Tato regulace se nazývá hrubou a uplatňuje se hlavně při zapnutí stroje. Po zapnutí je totiž nastaveno maximální buzení, aby se docílilo prvotního roztočení stroje. Žádané otáčky se rychle nastaví pomocí hrubé regulace a poté se už jen udržují jemnou regulací. Nutno je však říci, že tyto hodnoty jsou stále postupně upravovány, neboť jen další testy a reálný provoz ukáží nejlepší nastavení této regulace.

6.3 Návrh DPS pro regulaci rotoru

Po napsání programu a jeho úspěšných testech na vývojovém kitu bylo potřeba vytvořit vlastní DPS s patičí na mikrokontrolér ATmega32.

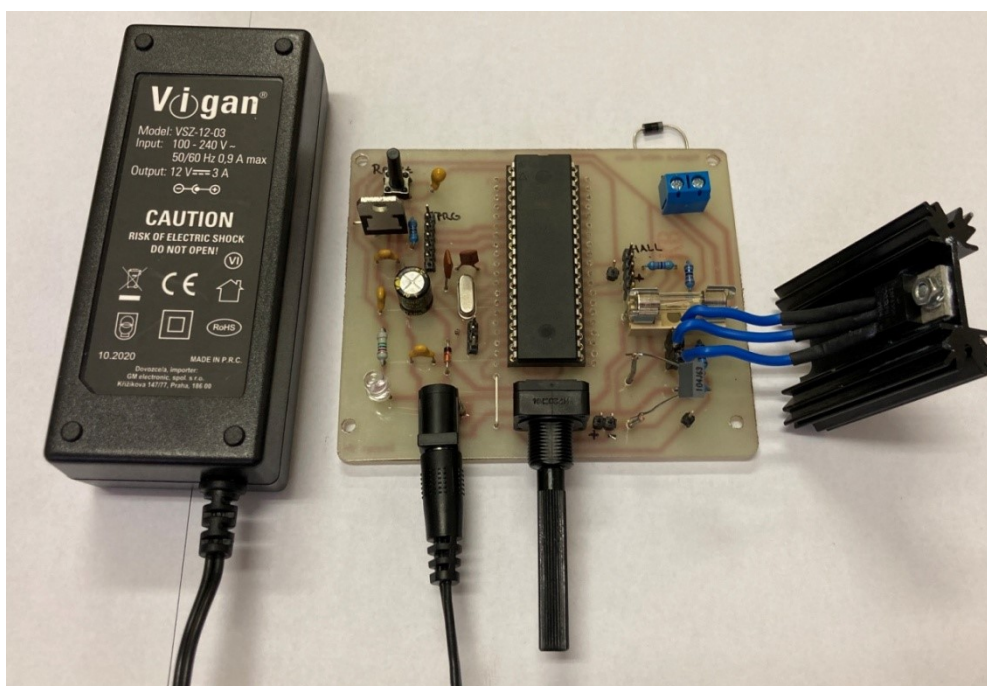
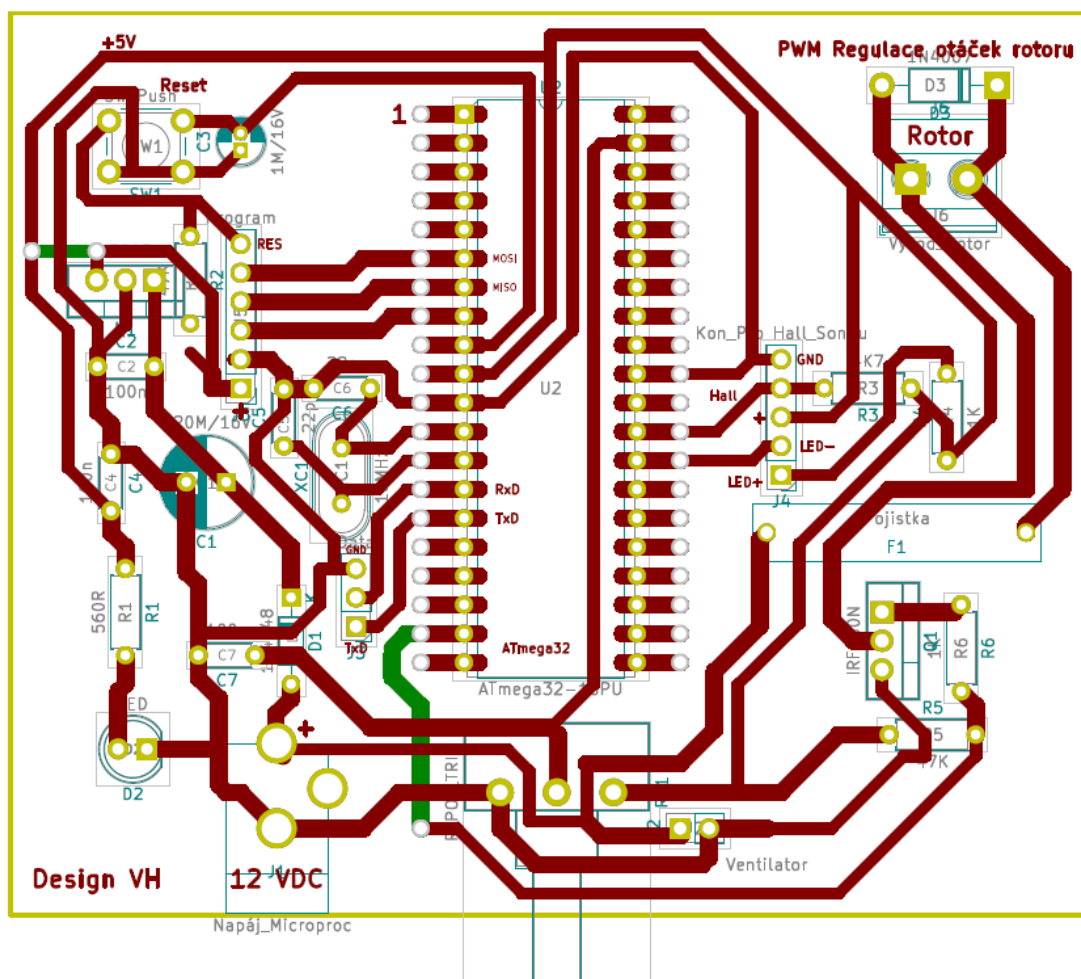


Obr. 29 Schéma zapojení pro napájení a regulaci napětí rotoru

Ze schématu na Obr. 29 jde vidět, že pro napájení samotného rotoru i mikrokontroléru je použit jeden 12 voltový zdroj. Pro mikrokontrolér je však třeba toto napětí snížit na 5 V, tudíž je zde zapojený stabilizátor napětí L7805, který těchto stabilních 5 V poskytne. Samozřejmě nechybí dioda proti přepólování napětí na vstupu, kondenzátory před a za stabilizátorem kvůli zamezení kmitání, a také indikační LED, která svítí, když je na vstupu mikroprocesoru napětí 5 V.

Regulace napětí je tedy prováděna, jak již bylo zmíněno, změnou střídy PWM signálu z mikrokontroléru, který je přiveden na unipolární tranzistor IRF630N. Ten spíná 12 V ze zdroje do rotoru. Vzhledem k tomu, že vinutí elektromotoru je cívka, bylo nutné zapojit antiparalelní zpětnou diodu, která nepustí vzniklé napěťové špičky na tranzistor. Tyto napěťové špičky totiž dělaly velké problémy při prvotních testech.

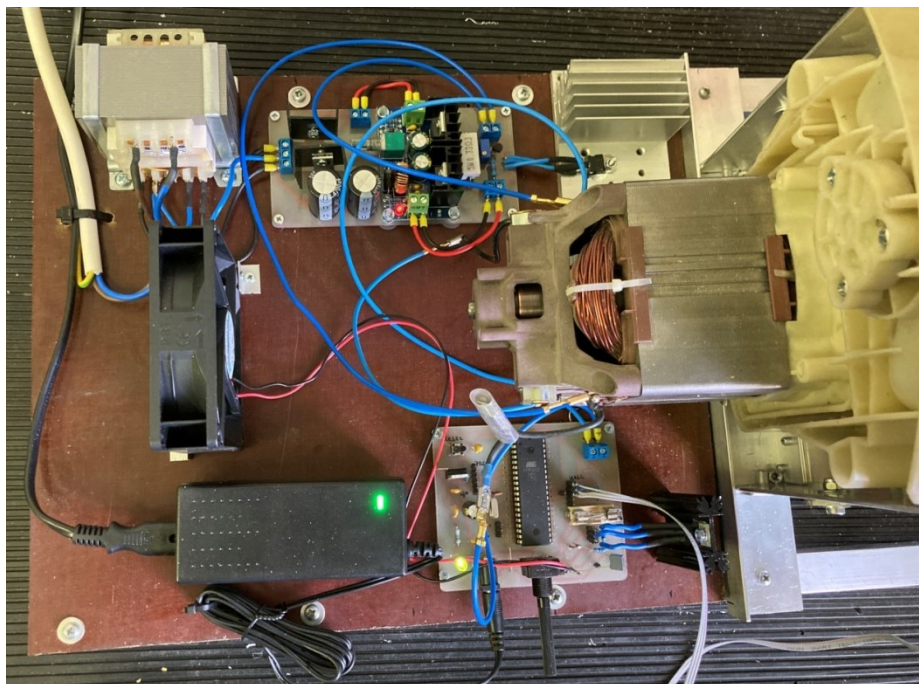
Velmi důležité pro pozdější ladění také bylo vyvést si piny se signály TxD a RxD pro komunikaci po sériové lince, a také piny pro programování. Tyto vyvedené piny slouží k tomu, aby se mohlo najednou číst výpisy ze sériové linky, a navíc i za běhu motoru upravovat program a nahrávat ho do mikrokontroléru. Tato úprava ušetřila hodiny práce při ladění programu.



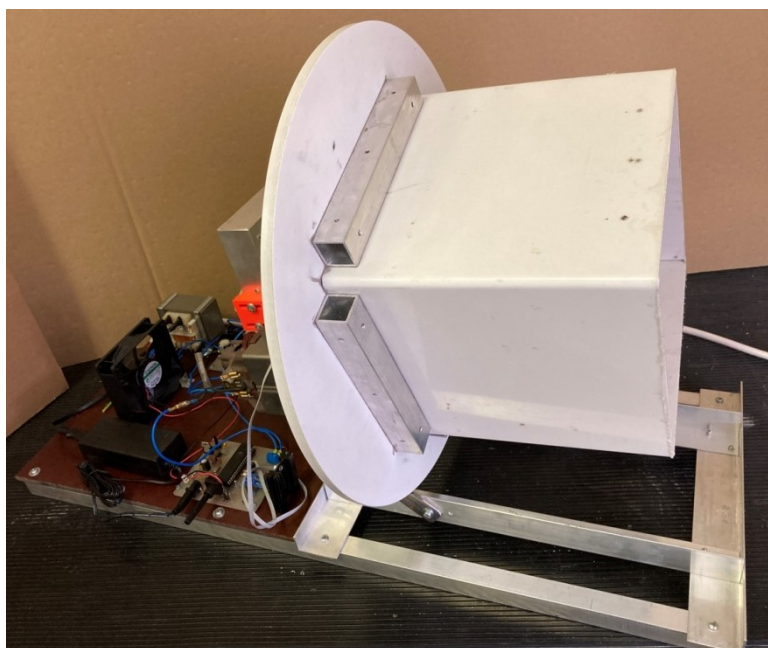
7 Finální produkt

Po dokončení a zprovoznění všech částí nutných pro napájení a regulaci elektromotoru, bylo už jen potřeba všechny DPS, napájecí zdroje a ventilátor připevnit k omílacímu stroji, aby vše utvořilo jeden celek.

Nakonec se pro montáž vybrala pertinaxová deska o rozměrech 28,5 x 34 cm, na kterou byly všechny části rozmístěny a připevněny. Připevnění se provedlo za pomoci samořezných šroubů.

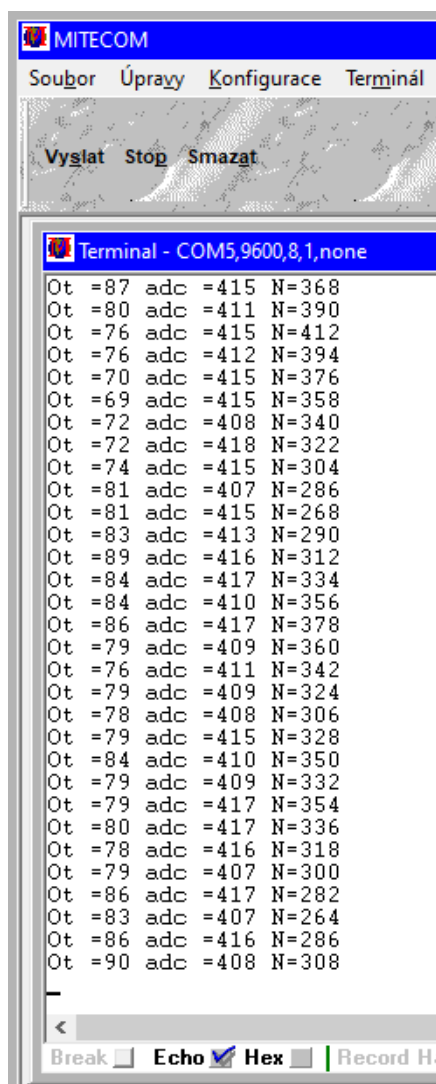


Obr. 32 Finální podoba celku pro regulaci otáček omílacího stroje

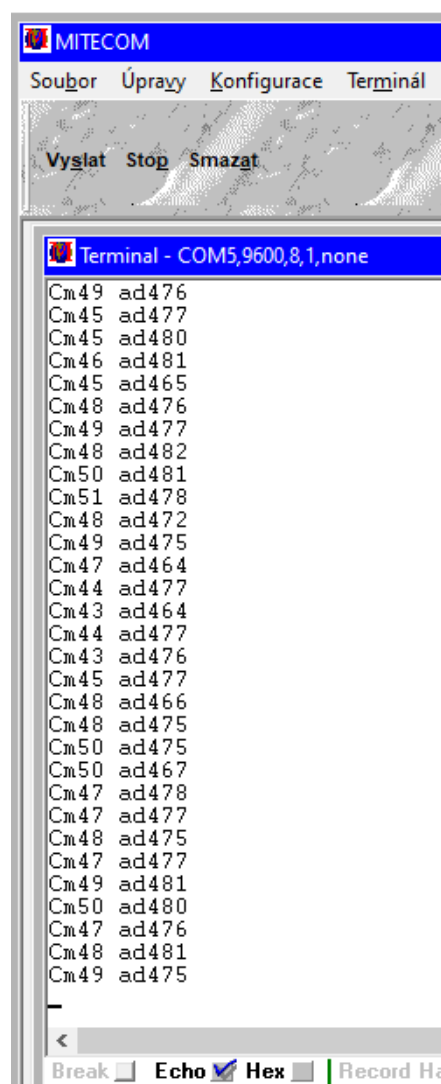


Obr. 33 Finální podoba celého omílacího stroje

Posledním bodem zadání bylo ověření funkčnosti celého zapojení. Jako ověření jsou zde umístěny výpisy z terminálu sériové linky, na kterou stroj posílá aktuální informace o důležitých veličinách.



Obr. 34 Dlouhý výpis ze sériové linky v programu Mitecom



Obr. 35 Zkrácený výpis ze sériové linky v programu Mitecom

Při výpisu na sériovou linku je obecná snaha vypisovat co nejméně znaků, neboť každý znak znatelně zpomaluje mikrokontrolér. Proto bude potřeba zde vysvětlit jednotlivé zkratky z Obr. 34. „Ot“ značí aktuální otáčky motoru. Proměnná „adc“ značí hodnotu vyčtenou z AD převodníku a proměnná „N“ určuje šířku pulzu v PWM regulaci.

Na Obr. 35 je navíc již jen proměnná „Cm“, která značí čas mezi magnety. Je to čas 1/12 otáčky, kterou motor provede.

8 Závěr

Za vznikem této bakalářské práce stojí to, že můj zaměstnavatel, pan Ing. Petr Broda, zkonstruoval rotační omílací stroj z porouchané elektrické zahradní sekačky. Avšak kombinace statického napájení, sériového zapojení a velmi nesouměrné zátěže mělo za následek to, že byl tento stroj k omílání nepoužitelný. Bylo tedy potřeba vytvořit regulaci.

Úkolem bylo navrhnout a zkonstruovat obvod pro regulaci otáček tohoto stroje, pokud možno jednoduše a levně. Proto také při tvorbě byly často použity věci, které byly dostupné ve firmě, a nutně se nekupovaly všechny nové.

Napřed si celý problém žádal důkladnou teoretickou analýzu. Bylo potřeba zjistit, jaké jsou možnosti řízení, a jaké budou pro tuto aplikaci nejvhodnější. Poté se experimentálně došlo k nejlepšímu způsobu zapojení samotného elektromotoru. Dále se navrhnul a vytvořil obvod, který je schopen dodávat konstantní proud do statorových cívek. Jak již bylo řečeno, pro tuto práci bylo zvoleno poměrně nevšedního zapojení zdroje konstantního proudu, a to hlavně z důvodu naučení se něčeho nového, radši než jen koupit nový spínaný zdroj.

Následně bylo potřeba napájet a zároveň regulovat rotor zvoleného univerzálního motoru. Regulace byla provedena za pomoci zpětné vazby z Hallovy sondy, která poskytuje aktuální informaci o otáčkách stroje a mikrokontroléru ATmega32. Program v jazyce Bascom využívá dvou časovačů, počítá čas mezi impulzy Hallovy sondy a jeho výstupem je PWM, která spíná proud z dalšího zdroje do rotoru.

Předposledním úkolem bylo navrhnout způsob uchycení a zapojení celého systému přímo k omílacímu stroji, aby vznikl jeden kompaktní, přenosný celek. Nakonec se vše umístilo na pertinaxovou desku, která se k omílacímu stroji připevnila pomocí hliníkových profilů.

Finální úkol a vlastně výstup této práce byl test funkčnosti celého stroje. Ten se provedl tak, že byl systém implementován do vybraného omílacího stroje a otestován v reálném provozu. Během omílacího cyklu trvajícího 3 hodiny se neobjevily žádné závady a systém pracoval správně. Můžeme konstatovat, že systém je schopný spolehlivé činnosti v reálném provozu. Omílací stroj bude nyní plnit svou funkci v běžném provozu firmy Apeom s.r.o..

Seznam literatury

- [1] ETEL: *What is a linear motor – principle* [online]. Dostupné z: <http://www.etel.ch/linear-motors/principle/>
- [2] RUDOLF, Ladislav. *Elektrické stroje a přístroje* [online]. Dostupné z: <http://projekty.osu.cz/irp2016/asynchronni.html>
- [3] *Elektropohony: Frekvenční měnič – YASKAWA J1000* [online]. Dostupné z: <http://yaskawa.cz/produkty/frekvencni-menice/j1000#fotogalerie>
- [4] VÁŇA, Vladimír. *Mikrokontroléry ATMEL AVR: programování v jazyce Bascom*. Praha: BEN - technická literatura, 2004. ISBN 80-7300-115-2.
- [5] NEBORÁK, Ivo a Václav SLÁDEČEK. *Elektrické pohony [CD-ROM]*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-248-1493-3.
- [6] Flídr: *Omílání a omílací stroje* [online]. Dostupné z: <http://flidr.cz/omilani>
- [7] Otec: *Disková odstředivá zařízení* [online]. Dostupné z: <http://www.otec.de/cs/produkty/omilani/diskova-odstrediva-zarizeni/>
- [8] KREJČÍŘÍK, Alexandr. *Napájecí zdroje I.*. Praha: BEN – technická literatura, 1996, s. 177. ISBN 80-86056-02-3.
- [9] MOTOROLA. *Darlington Complementary Silicon Power Transistors: BDX33C*. Dostupné také z: <http://www.gme.cz/data/attachments/dsh.211-052.1.pdf>
- [10] GM electronic: *EI transformátor TR-EI6633 40VA/2X9V* [online]. Dostupné také z: <http://www.gme.cz/ei-transformator-ezk-tr-ei6633-2x9>
- [11] In: Hadex: *Napájecí modul, step-down měnič 8A, modul XH-M401* [online]. Dostupné z: <http://www.hadex.cz/img/zbozi/m410c.jpg>
- [12] GM electronic: *Hallova sonda, THT* [online]. Dostupné také z: <http://www.gme.cz/tle4905l>
- [13] In: GM electronic: *Vývojový kit EvB 5.1 – Atmega32* [online]. Dostupné z: <http://www.gme.cz/vyvojovy-kit-evb-5-1-atmega32>
- [14] ATMEL CORPORATION. *Atmega32*. Dostupné také z: <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/171430/ATMEL/ATMEGA32.html>
- [15] *Profi elektrika: Způsoby řízení stejnosměrných motorů* [online]. Dostupné z: <http://elektrika.cz/data/clanky/zpusoby-rizeni-stejnosmernych-motoru>

Seznam příloh

- 1. Datasheet tranzistoru BDY33C**
- 2. Datasheet procesoru ATmega32**
- 3. Celý kód programu**